

# 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 王 彬

工学修士 王 彬提出の論文は「Laser Detonation Propulsion with Solid-state Laser」(和訳：固体レーザーを用いたレーザー爆轟推進の研究)と題し、本文5章から成っている。

レーザー爆轟推進では、地上に設置された高出力レーザーシステムから遠隔的に供給されるビームを集光して生じる爆風波が、推進器壁面に力積を与えることにより推進力を生む。大気中航行時は空気を推進剤として使用することができ、またターボポンプシステムを搭載する必要がないので、従来の化学ロケットに比べ格段に高いペイロード比、低い打ち上げコストを実現できると期待されている。レーザー源の波長選定は慎重に検討すべき重要項目であるが、先行研究はどれも吸収係数の大きい遠赤外域に発振波長をもつ炭酸ガスレーザーを使用して行われてきた。しかしながら、近年固体レーザーの高出力化が進み、レーザー推進打ち上げの出力要求を満たし得る候補になってきている。一方で、炭酸ガスレーザーの10分の1という短い波長で発振する固体レーザーでは、吸収係数が波長に強く依存するために炭酸ガスレーザーに比べて吸収係数が小さく、エネルギー変換効率が低いのではないかと懸念がある。そこで本研究では、固体レーザーを用いた場合のレーザー爆轟(Laser Supported Detonation : LSD)波の構造と運動エネルギーおよび力積への変換効率の観点から固体レーザーの適用可能性を評価することを目的としている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的について述べている。

第2章では、レーザーから爆風波へのエネルギー変換機構であるLSD波について、その構造と維持条件を調べている。固体レーザーの場合、LSDを透過したレーザー光が爆風波裏面においてレーザーと同方向へ伝播するもう一つのLSDを駆動し、その結果レーザー照射方向に対して前進と後退の両方向に伝播するLSDが生じることを見出している。LSD維持条件に関しては、Half-Shadowgraph-Half-Self emission可視化法を取り入れ、衝撃波と電離波面の進展状況をそれぞれがオーバーラップすることなく撮影することによって、正確にLSD終了時刻を同定し、結果として、レーザー照射時間中の遅い時間帯においてLSDが終了し、レーザーエネルギーのほとんどがLSD終了までに照射されていること明らかにしている。また、様々なパラメータにおけるLSD終了時の波面でのレーザー強度から閾値を評価している。

第3章では、レーザーから爆風波へのエネルギー変換効率について述べている。まず、二組のフォトディテクタとエネルギーメータを用いて、照射レーザーパワーの吸収と透過の時間履歴を測定した結果、固体レーザーを用いた場合には、ブレイクダウン前の透過損失に加え、ブレイクダウン後もその低い吸収係数のために透過損失を生じていることが分かった。次に、爆風波エネルギー(等価爆源エネルギー)を見積もるため、爆風波の進展履歴について解析を行っている。固体レーザーが誘起する爆風波は、上記の両方向性爆轟波伝播により楕円球というよりもむしろ洋ナシ型の爆風波が生成される。この爆轟波伝播

をとらえた一連のシャドウグラフ画像から爆風波エネルギーを見積もる方法を提案し、変換効率を求めている。レーザーエネルギー、集光  $f$  値、雰囲気圧力を変えて爆風波エネルギーを求め、最大効率 59%を得たが、この値は炭酸ガスレーザーによる場合と同等であり、レーザー打ち上げを考える際の固体レーザーの有効性を示している。透過損失が大きいにもかかわらず最終的に高い爆風波エネルギー効率を達成した要因として、LSD が維持されている時間が長かったことを挙げている。

第 4 章では、円錐型ノズル推進器と推力スタンドを用いて力積を測定し、第 3 章の結論を検証している。固体レーザーのビームを半頂角  $15^\circ$  の円錐ノズルを用いて最大  $0.35 \text{ mNs/J}$  の運動量結合係数（力積とレーザーエネルギーの比）を得たが、これは炭酸ガスレーザーで得られるものと同程度であり、第 3 章で述べた同等の爆風波エネルギー効率という測定結果を推進性能の面から裏付ける結果となっている。加えてノズル長さに対する運動量結合係数の依存性を調べ、将来の推進機設計のための最適な推進器スケールを議論している。

第 5 章は結論であり、本研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文は、レーザー爆轟推進のレーザー源として固体レーザーを用いた場合の LSD 構造と維持条件、エネルギー変換効率、推進性能を実験的に調べたもので、効率 59%、運動量結合係数  $0.35 \text{ mNs/J}$  を達成し、炭酸ガスレーザーと同程度に有効であることを示したものであり、その結果は独創的で、先端エネルギー工学、特に宇宙推進工学上貢献するところが大きい。

なお、本論文第 2, 3, 4 章は、小紫公也、鳴村耕平、道上啓亮、山口敏和、荒川義博との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって実験ならびに解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。